

3. Штанько В.Ф., Олешко В.И., Намм А.В. и др. Импульсная катодоллюминесценция CdS и CdS_{0.83}-Se_{0.17}, выращенных кристаллизацией из газовой фазы. // ЖПС. – 1991. – Т.55, – № 5. – С.788–793.
4. Tanimura K. Femtosecond time-resolved spectroscopy of the formation of self-trapped excitons in CaF₂. // J. Phys. Rev. –2001, – В63, – P.184303.
5. Adair M., Leung C.H., Song K.S. Equilibrium configuration of the self-trapped exciton in CaF₂ and SrF₂. // J. Phys. C: Sol. State Phys. – 1985. – V.18, – № 28. – P.L909–L913.

СВЕТОДИОДНЫЙ ОБЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ ТЕПЛИЦ

В.И.КОРЕПАНОВ, Н.И.ОМИРОВА, А.Ш.ОМАРХАН

Томский политехнический университет

Институт физики высоких технологий

E-mail: korepanov@tpu.ru

LED IRRADIATOR FOR GREENHOUSES

V.I.KOREPANOV, N.I.OMIROVA, A.SH.OMARKHAN

Tomsk Polytechnic University

Institute of High Technology Physics

E-mail: korepanov@tpu.ru

***Annotation.** The spectra and solar radiation fluxes in Tomsk. The principles of supplementary lighting control options depending on the time of year, time of day and weather conditions. A LED illuminator for greenhouses with science – based emission spectrum, versatility and ability to adapt to changing external conditions.*

Введение. Для нормального развития растений требуется определенный набор благоприятных внешних факторов [1]. Условия, близкие идеальным, можно создавать в теплицах и этот способ производства сельхозпродукции постоянно расширяется. Учитывая масштабы тепличного хозяйства, определяющим фактором развития становится внедрения новых технологий производства сельскохозяйственной продукции в теплицах.

Одна из главных задач – оптимизация падающего на растения потока фотонов и их соотношения в различных областях спектра [2]. Среди технологий, позволяющих это реализовать, наиболее перспективными являются технологии, основанные на внедрении светодиодных систем облучения. Светодиодные облучатели позволяют создавать облучательные установки с любым соотношением потоков фотонов в различных областях спектра, а также управлять параметрами облучения в зависимости от требуемого уровня облученности количества и качества солнечного радиации, то есть позволяют создавать адаптивные системы облучения.

Все изменения (уменьшения) солнечного излучения должна компенсировать искусственная досветка. Для реализации таких систем облучения наметились две основные тенденции:

- Разработка облучателей с оптимальным качеством (спектром) излучения;
- Разработка способов, методов и конкретных систем управления количеством и качеством излучения.

Цель настоящей работы: обоснование и выбор светодиодов для создания облучателя для теплиц с оптимальным спектром и определение принципов создания системы мониторинга для управления качеством и количеством светового потока при досветке растений в теплицах в зависимости от времени года, времени суток и погодных условий.

1. Обоснование и выбор светодиодов

Растениям нужен весь спектр излучения (солнечной радиации или досветки искусственными источниками излучения) в пределах ФАР (380-750 нм), но с хорошо сбалансированным соотношением в различных областях спектра. Облучатель должен иметь возможность управления спектральным составом и общим потоком досветки и быть относительно дешевым.

При выборе спектрального состава излучения облучателя для досветки растений ориентируются, как правило, на спектр действия фотосинтеза (рисунок 1). Часто ссылаются на фундаментальную работу Н.Н. Протасовой [3], которая определила для растений некое «оптимальное» соотношение интенсивностей излучения в разных участках спектра, равное для диапазонов длин волн (нм): 400-500/500-600/600-700 = 30/20/50 %.

Как было показано в [2], оптимальное соотношение в спектре излучения светодиодного модуля с возможностью управления распределением энергии в спектрах в пределах ФАР можно создать путем составления различных сочетаний цветных и белых СД.

Оптимальным является вариант облучателя с трехцветным составом светодиодов: белый (теплый оттенок), синий ($\lambda_p = 420-465$ нм), красный ($\lambda_p = 660$ нм). Три типа светодиодов позволяют изменять суммарный поток от нулевого значения до номинального (среднего) и создавать любую комбинацию спектра для любого этапа развития растения, то есть обладают универсальностью применения.

Основу для создания световой гаммы должен составить белый светодиод с теплым оттенком. Такой светодиод с широким спектром излучения позволяет охватить всю область поглощения пигментами, обладающими фоторегулирующими функциями. Отметим, что количество световой энергии для управления фотохимическими процессами в растении требуется меньше чем для фотосинтеза.

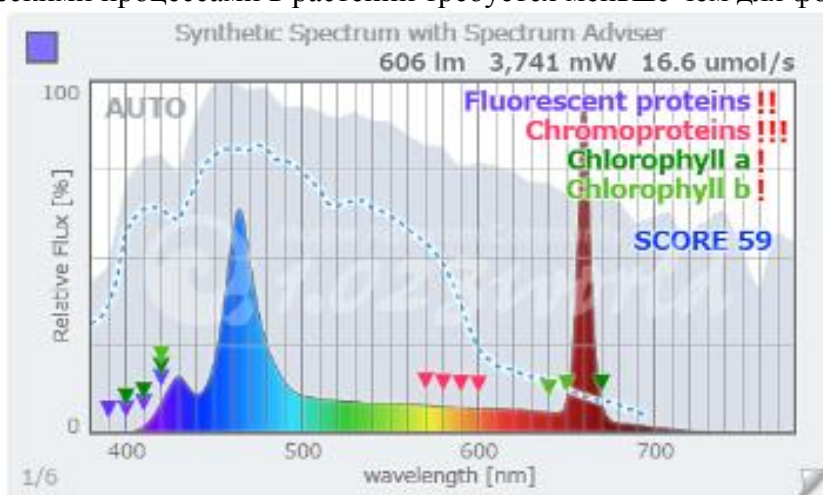


Рисунок 1 – Спектр излучения комбинация теплого белого, красного, синего светодиодов Nichia и Philips

Наиболее подходящими белым и синим светодиодами является светодиоды фирмы Nichia марок NS3W183TS и марок NCSB119T. Требуемый красный светодиод эта фирма не выпускает, поэтому для красной области спектра мы выбрали светодиод фирмы Филипс марки LXM3-PD01.

При подборе количества различных типов светодиодов мы воспользовались программой SPECTRA [4]. При этом ориентировались на соотношение в синей, зеленой и красной областях спектра 30/20/50% с учетом мощности светодиода.

Если взять два белых светодиода (1 Вт), один синий (1 Вт) и один красный (3Вт), то в сумме получим излучение в различных участках спектра: 400-500 нм – 1,54 Вт; 500-600 нм – 0,9 Вт; 600-700 нм – 3,56 Вт.

Тогда соотношение потоков в разных областях спектра синий/зеленый/красный будет равно 0,26/0,15/0,59, то есть близко к требуемому, равному 30/20/50%. Спектр излучения облучателя с таким соотношением потоков показан на рисунке 1. Этот набор светодиодов составляет базовый спектр излучения облучателя для досветки растений.

2. Система мониторинга

Управление интенсивностью излучения открывает новую возможность – создание компьютерного алгоритма для оптимального режима досветки, то есть и большие перспективы для снижения энергозатрат и повышения продуктивности тепличных хозяйств без ухудшения качества продукции. Самый простой алгоритм управления фитопотоками – организация обратной связи между естественным (солнечным) освещением и уровнем досветки.

Для создания системы управления рассчитанным спектром и общим потоком необходима система мониторинга солнечной радиации (СР). Вопрос состоит в выборе основного параметра для управления. Система обратной связи в адаптивной облучательной установке может быть построена на основе измерений спектров СР и потоков или одного из этих параметров.

Для обоснования нами, на основе литературных источников и проведенных исследований, сделан анализ динамики потока фотосинтетической активной солнечной радиации в г. Томске, анализ динамики спектрального состава фотосинтетической активной СР. Для получения сведений о спектрах солнечного излучения использовался «онлайн калькулятор» солнечной радиации, расположенный по адресу [5]. Собственные измерения спектров излучения и потоков ФАР производились оптоволоконным спектрометром AvaSpec- 2048.

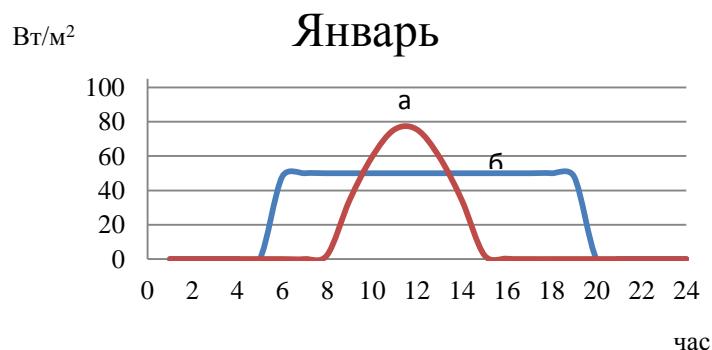


Рисунок 2 – Динамика прямой солнечной радиаций ($\text{Вт}/\text{м}^2$) на горизонтальную поверхность при ясном небе и динамика требуемых параметров облучения

огурца в течении дня в январе в г. Томск: а) Динамика прямой солнечной радиации; б) динамика необходимой радиации в пределах ФАР

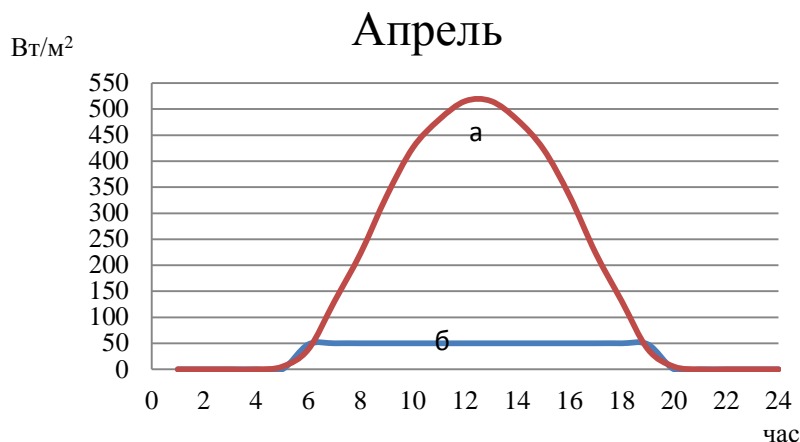


Рисунок 3 – Динамика прямой солнечной радиаций ($\text{Вт}/\text{м}^2$) на горизонтальную поверхность при ясном небе и динамика требуемых параметров облучения огурца в течении дня в апреле в г. Томск: а) Динамика прямой солнечной радиации; б) динамика необходимой радиации в пределах ФАР

Однако, в зависимости от погодных условий, конкретные значения плотности потока СР могут сильно изменяться. Характер и глубину таких изменений демонстрируют рисунки 4, 5. Эти изменения обусловлены преимущественно изменением погодных условий в г. Томск (облачность, дождь).

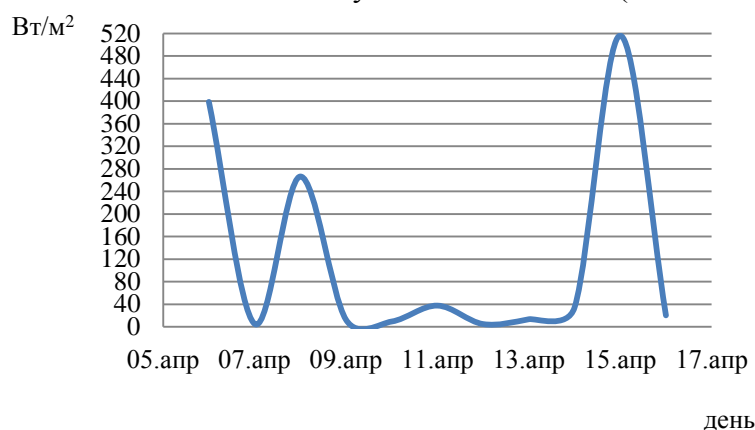


Рисунок 4 – Динамика активности солнечной радиации в области ФАР 13.00 с 6.04.16. по 16.04.16. в г. Томск

На рисунке 2, 3, в качестве примера, представлена динамика прямой солнечной радиаций ($\text{Вт}/\text{м}^2$) на горизонтальную поверхность при ясном небе (а) и динамика требуемых параметров облучения огурца (б) в течении дня в январе и апреле в Томске. Необходимые для растений длительность (14 часов) и плотность потока ФАР ($50 \text{ Вт}/\text{м}^2$) были выбраны исходя из рекомендаций аграриев [6].

Из этих результатов могут быть получены сведения о средних значениях значение плотности потока досветки, необходимых в данное время, как разность

требуемых значений радиации (кривая б) и значений прямой солнечной радиации (Вт/м²), падающей на горизонтальную поверхность (кривая а).

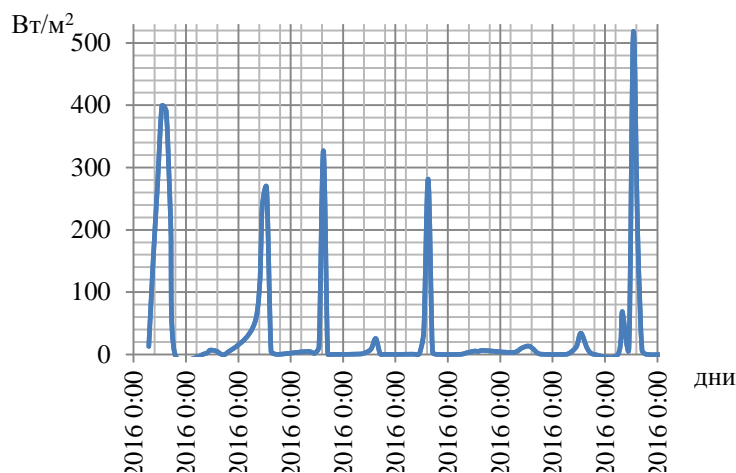


Рисунок 5 – Динамика активности солнечной радиации в области ФАР (разное время) с 6.04.16. по 16.04.16. в г. Томск

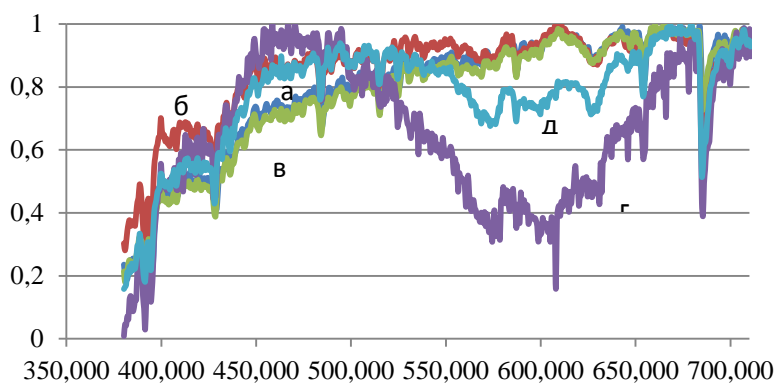


Рисунок 6 – Нормированные спектры прямой солнечной радиации в разное время суток и при разных погодных условиях: а) ясная погода (13.00 ч); б) облачность (13.00 ч); в) малая облачность (13.00 ч); г) закат (19.00 ч); д) восход (6.00 ч)

Исследования спектрального состава СР в различное время, в различные дни и при различных погодных условиях (рисунок 6) показали следующее:

1. Спектральный состав солнечной радиации на широте данной местности не зависит от погодных условий, изменяется только ранним утром и поздним вечером, когда потоки СР малы, в течение года медленно изменяется от месяца к месяцу. Поэтому не имеет смысла включать измерение спектрального состава в систему мониторинга. Целесообразно учитывать изменения спектра излучения солнечной радиации на поверхности земли в районе расположения теплицы в «Базе данных», с которой сравниваются измеренные значения.

2. Изменение плотности потока СР сильно зависит от погодных условий и носит случайный характер. По этой причине для организации необходимых и достаточных значений досветки в теплице требуется постоянно отслеживать значения плотности потока СР, без измерения его спектрального состава. В качестве

датчика ФАР может быть выбран один из описанных промышленных датчиков, например датчик фотосинтетического активного излучения S-LIA-M003.

Таким образом, проведенные исследования позволяют уточнить требования к базовому спектральному составу облучателя для растений и требования к системе управления и мониторинга адаптивной светодиодной облучательной установки.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России: государственное задание в сфере научной деятельности № 8.2500.2014/К.

Список литературы

- 1 Клешнин А.Ф. Свет и растение. – М.: Издательство Академии наук СССР, 1954. – 456 с.
- 2 Козырева И. Н., Корепанов В. И. Методы создания адаптивных энергосберегающих облучательных установок для теплиц // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - №. 9/3. - С. 88-92.
- 3 Протасова Н.Н. Светокультура как способ выявления потенциальной продуктивности растений / Н.Н. Протасова // Физиология растений - 1987. - т. 34, № 4 - С. 812-822.
- 4 SPECTRA [Электронный ресурс] URL: www.spectra.1023world.net
- 5 Solar spectrum calculator [Электронный ресурс] URL: <https://www.pvlighthouse.com.au/calculators/solar%20spectrum%20calculator/solar%20spectrum%20calculator.aspx>.
- 6 Тихомиров А.А., Лисовский Т.М., Сидько Ф.Я. Спектральный состав света и продуктивность растений. Новосибирск: Наука (Сибирское отд.), 1991, – 168 с.

МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗОННЫХ ДИАГРАММ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ

С.К.СПЕРАНСКИЙ, И.В.РОДИОНОВ

Саратовский государственный технический университет им.Гагарина Ю.А.

E-mail: speransky56@mail.ru

MODELING BAND DIAGRAMS IN PHOTONIC CRYSTALS

S.K.SPERSANSKY, I.V.RODIONOV

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

E-mail: speransky56@mail.ru

Annotation. *The paper describes a model of light propagation in photonic crystals. Model was carried out in Matlab software environment. The paper also describes the manufacturing of a photonic crystal fiber*

Фотонные кристаллы (рис.1а) представляют собой сложные структуры, требующие рассмотрения в нескольких пространственных измерениях и методы расчета являются ключевой частью теоретического анализа подобных структур. Область фотоники благоприятна для компьютерного моделирования потому, что уравнения Максвелла практически точно согласуются с реальностью и соответствующие свойства материалов, такие как диэлектрическая проницаемость,